

图像平滑算子对边缘检测精度的影响

田原媛

TIAN Yuan-yuan

东北电力大学 能源与机械工程学院, 吉林 132012

Institute of Energy Sources and Mechanical Engineering, Northeast Power University, Jilin 132012, China

TIAN Yuan-yuan. Precision of edge detection affected by smoothing operator of image. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(32): 161-163.

Abstract: Capability of smoothing operator of image directly impacts the precision of edge detection and edge orientation finally. So precision of calibration of CCD camera will be effected. Capability of smoothing operator of image and edge detection operator is compared through experiment. Compared with mean filter, medial filter operator protects details of image edges well under the conditions of good capability protected of wiping off noise. Compared with even filter, medial filter operator can save time and improve efficiency. Compared with Canny operator, Sobel operator not only detects edges of objects exactly but also has the capability of resisting noise strongly. On the side of detecting edge of line, Sobel operator has many advantages and it meets the need of application.

Key words: image smooth; edge detection; edge orientation; precision; operator

摘要: 图像平滑算子的性能会直接影响到边缘检测的精度,并最终影响到边缘定位的精度,从而影响 CCD 摄像机的标定精度,所以通过实验对图像平滑算子和边缘检测算子进行了性能比较,可以看出中值滤波算子在保持良好的去噪性能基础上,与均值滤波相比能够很好地保持图像的边缘等细节,与图像间平均滤波相比能够节约时间、提高效率。与 Canny 算子相比, Sobel 算子不但能够准确地检测出目标的边缘,而且具有很强的抗噪性,在检测直线边缘方面具有很强的优势,更加适合应用的需要。

关键词: 图像平滑; 边缘检测; 边缘定位; 精度; 算子

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.32.051 **文章编号:** 1002-8331(2009)32-0161-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.41

1 引言

二维图像的特征提取是三维计算机视觉的第一步,在 Marr^[1]的视觉计算理论框架中,抽取二维图像上的边缘、角点、纹理等基本特征是整个系统框架中的第一步。Yuille^[2]等指出,在不同“尺度”意义下的边缘点,在一定条件下包含了原图像的全部信息,仅仅根据这些边缘点,就能识别出三维物体。对生物视觉系统的研究表明,在视网膜上感受野为同心圆的是神经细胞,具有边缘检测功能。图像边缘点产生的原因不同,但它们都是图像上灰度的不连续点,或灰度变化剧烈的地方。边缘一般用滤波方法得到,“灰度变化剧烈”意味着在边缘点附近,信号具有空间域的高频分量,因此,所有的边缘抽取方法在本质上都是检测信号的高频分量,但信号的高频分量与信号的噪声很难区别开来,这就使看来很简单的边缘检测变得很难,或者说,变成一个定义不清的问题。边缘检测实际上是一个不适定 (ill-posed problem) 问题(或称病态问题),解不适定问题通常采用正则化方法,以不同尺度的滤波器抽取图像信号的边缘点,能使人们从不同的分辨率的角度去观察信号,对于理解与识别信号有重要意义。近 10 年来,有不少人提出了各种边缘抽取的最优滤波器,他们从不同角度给出了边缘检测的最优化准则,并

用变分方法推出最优滤波器。

由于图像在摄取过程中受到摄取器件、周围环境等影响,会使摄取到的图像中含有噪声,噪声通常是随机产生的,因而分布和大小具有不规则性。有些噪声和图像信号互相独立、互不相关,有些是相关的,噪声本身之间也可能相关。因此要减少图像中的噪声,必须针对具体情况采用不同的方法,否则很难获得满意的处理效果。图像平滑处理视其噪声图像本身的特性而定,可以在空间域也可以在频率域采用不同的措施。在空间域里一类方法是噪声去除,即先判定某点是否为噪声点,若是,重新赋值,若不是,按原值输出;另一类方法是平均,即不依赖于噪声点的识别和去除,而是对整个图像进行平均运算。在频率域里是对图像频谱进行修正,一般采用低通滤波方法,而不像在空间域里直接对图像灰度级值进行运算^[3]。

2 图像平滑算子

在空间域对图像平滑处理常用均值滤波和中值滤波^[4-5]处理。平滑滤波对图像低频分量进行增强,同时可以削弱图像的高频分量,因此一般用于消除图像中的随机噪声,从而起到图像平滑的作用。平滑滤波一般分为线性滤波和非线性滤波两

基金项目:吉林省科技厅基金项目(No.20060217)。

作者简介:田原媛(1979-),女,博士,讲师,主要研究方向:摄像机标定。

收稿日期:2009-05-11 修回日期:2009-06-16

类。其中均值滤波为线性滤波,中值滤波为非线性滤波。

2.1 中值滤波算子

中值滤波(Median Filtering)是一种基于排序统计理论的可有效抑制噪声的非线性平滑滤波。中值滤波的工作原理:首先确定一个以某个像素为中心点的邻域,一般为方形邻域,然后将邻域中各个像素的灰度值进行排序,取其中间值作为中心点像素灰度的新值,这里的邻域通常被称为窗口;当窗口在图像中上下左右进行移动后,利用中值滤波算法可以很好地对图像进行平滑处理。中值滤波后输出的中心点的灰度值是由邻域图像的中间值决定的,因而中值滤波对极限像素值(与周围像素灰度值差别较大的像素)远不如平均值那么敏感,从而可以消除孤立的噪声点,又可以使图像产生较少的模糊。通常,二维情况下的中值滤波可定义为:

$$g(x,y)=\underset{s}{\text{Median}}\{f(x-k,y-l),(k,l)\in S\} \quad (1)$$

其中: S 为窗口; $g(x,y)$ 为窗口中心点的输出灰度值; $f(x-k,y-l)$ 为窗口 S 中的像素灰度值。通常窗口内的像素数为奇数,以便于有中间像素。若窗口内的像素数为偶数,则中值取中间两像素灰度值的平均值。

中值滤波对于消除孤立点和线段的干扰十分有效,对于高斯噪声则效果不佳。中值滤波去除噪声的效果除了与噪声类型有关外,还与邻域的空间范围和中值计算中涉及的像素数有关。一般说来,小于滤波器面积一半的亮或暗的物体基本上会被滤除,而较大的物体几乎会原封不动地保存下来,因此,中值滤波器的空间尺寸必须根据现有的问题来进行调整。中值滤波的优点是运算简单而且速度快,易于实现,在滤除叠加白噪声和长尾叠加噪声方面显示出了极好的性能。中值滤波器在滤除噪声(尤其是脉冲噪声)的同时能很好地保护信号的细节信息(例如边缘、锐角等),但有时会丢失图像中的细线和小块的目标区域。另外,中值滤波很容易自适应化,从而可以进一步提高其滤波性能。因此,它非常适用于一些线性滤波器无法胜任的数字图像处理应用场合。

2.2 均值滤波算子

均值滤波是简单的空域处理方法,它将一个像素及其邻域中所有像素的平均值赋给输出图像中相应的像素,从而达到平滑的目的。均值滤波的过程是使一个窗口在图像上滑动,窗口中心位置的窗内各点值的平均值来代替,即用几个像素灰度平均值来代替一个像素的灰度。假定有一幅 $N \times N$ 个像素的图像 $f(x,y)$,平滑处理后得到一幅图像 $g(x,y)$, $g(x,y)$ 由式(2)决定:

$$g(x,y)=\frac{1}{M}\sum_{(i,j)\in S}f(i,j) \quad (2)$$

其中: $x,y=0,1,2,\dots,N-1$; S 是以 (x,y) 为中心的邻域集合; M 是 S 内的像素数。

式(2)说明,平滑后的图像 $g(x,y)$ 中的每个像素的灰度值均由包含在 (x,y) 的预定邻域中的 $f(x,y)$ 的几个像素的灰度值的平均值来确定,从而能滤掉一定的噪声。其主要优点是算法简单,计算速度快,但其代价是会造成图像一定程度上的模糊。均值滤波的平滑效果与所采用邻域的半径(模板大小)有关。半径愈大,则图像的模糊程度越大。为了更好地解决均值滤波造成图像模糊的问题,可采用阈值法^[6]、 K 邻点平均法、梯度倒数加权平滑法^[7]、最大均匀性平滑法^[8]、小斜面模型平滑法等。它们讨论的重点都在于如何选择邻域的大小、形状和方向,如何选

择参加平均的点数以及邻域各点的权重系数等。

2.3 图像间平均滤波算子

如果加在图像上的噪声 $\eta(x,y)$ 是不相关、具有零均值的随机噪声,则可以用几幅在相同条件下获得的这种随机图像的平均值来表示原图像,即

$$\hat{f}(x,y)=f(x,y)+\eta(x,y) \quad (3)$$

其中: $f(x,y)$ 表示原无噪声图像; $\hat{f}(x,y)$ 表示叠加了噪声后的图像。

可以用

$$g(x,y)=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^M\hat{f}_i(x,y) \quad (4)$$

来估计 $f(x,y)$ 。显然这种估计是无偏的,因为

$$E\{g(x,y)\}=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^ME\{\hat{f}_i(x,y)\}=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^Mf_i(x,y)=f(x,y) \quad (5)$$

3 边缘检测算子

人们已经发展了许多边缘检测算子,比如传统经典的边缘检测算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Laplacian 算子等微分算子, Marr 算子、LOG 算子、Canny 算子是目前在经典边缘检测算子基础上发展起来的最优边缘检测算子^[9],该文仅比较 Canny 算子和 Sobel 算子的边缘检测精度。

3.1 Canny 算子

Canny 给出了评价边缘检测算子性能优劣的三个指标:

(1)良好的检测性能,即不漏检真实边缘,也不把非边缘点作为边缘点检出,使输出的信噪比最大;(2)良好的定位性能,即被检出的边缘点到与之相对应的实际边缘点的距离最近;(3)唯一性,即对于单个边缘点仅有一个响应。Canny 首先将上述判据用数学的形式表达出来,然后采用最优化的数值计算方法,得到了对应给定边缘类型的最佳边缘检测模板。Canny 的分析针对的是一维边缘。对于阶跃状边缘,Canny 推导出的最优边缘检测算子的形状与高斯函数的一阶导数类似,利用二维高斯函数的圆对称性和可分解性,可以很容易地计算出高斯函数在任一方向上的方向导数与图像的卷积。因此,在实际应用中可以选取高斯函数的一阶导数作为阶跃状边缘的次最优检测算子。二维次最优阶跃状边缘检测算子的数学表达式可按下面的方法推导出来。

设图像 $f(x,y)$,二维高斯函数为:

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left[-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (6)$$

在任一方向 n 上 $G(x,y)$ 的一阶方向导数为:

$$G_n=\frac{\partial G}{\partial n}=n \cdot \nabla G \quad (7)$$

其中: n 为方向矢量, $n=\frac{\nabla[G(x,y)*f(x,y)]}{|\nabla[G(x,y)*f(x,y)]|}=\begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix}$; *代表卷

积; ∇G 是梯度矢量, $\nabla G=\begin{bmatrix} \partial G/\partial x \\ \partial G/\partial y \end{bmatrix}$ 。

将图像 $f(x,y)$ 与 G_n 作卷积,同时改变着方向矢量 n ,使得 $G_n*f(x,y)$ 取得局部最大值的点 (x,y) 即为边缘点,即令

$$\frac{\partial}{\partial n}G*f(x,y)=0 \quad (8)$$

将式(7)带入上式得:

$$\frac{\partial^2}{\partial n^2} G(x, y) * f(x, y) = 0 \quad (9)$$

3.2 Sobel 算子

对于阶跃边缘, 数字图像 $f(i, j)$ 的每个像素, 考察它的上、下、左、右四邻点灰度的加权差, 与之越接近的邻点的权越大, 据此, Sobel 提出一种检测边缘点的算子如下:

$$S(i, j) = |(f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)) - (f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1))| + |(f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)) - (f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1))| \quad (10)$$

设图像 f 的 3×3 邻域中像素的编号为:

A_0	A_1	A_2
A_7	(i, j)	A_3
A_6	A_5	A_4

并设 $S_1 = (A_0 + 2A_1 + A_2) - (A_4 + 2A_5 + A_6)$, $S_2 = (A_0 + 2A_7 + A_6) - (A_2 + 2A_3 + A_4)$, 则式(6)可用 $S(i, j) = [S_1^2 + S_2^2]^{1/2}$ 或者 $S(i, j) = |S_1| + |S_2|$ 来描述。

写成算子矩阵的形式为:

$$S_1: \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad S_2: \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

取适当门限 THg , 作如下判断: 若 $S(i, j) > THg$, 则 (i, j) 为阶跃状边缘点, $\{S(i, j)\}$ 为边缘图像。

4 实验结果及分析

实验设备主要由图像采集设备和图像处理、显示设备两部分构成。图像处理及显示部分主要通过计算机编写相应算法和程序完成; 图像采集设备主要由面阵 CCD 相机、工业定焦镜头、数字图像采集卡和可实现平移和 3 个方向转动的实验三角架四部分构成。首先, 通过计算机构造理想阶跃边缘(如图 1 所示), 并用激光打印机打印作为实验模板。其次, 通过工业定焦镜头、面阵 CCD 相机、图像采集卡、计算机对实验模板进行图像采集(如图 2 所示), 并保持实验模板、CCD 相机不动连续采集 20 张图像。

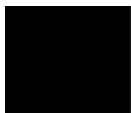


图1 理想阶跃边缘图像
(注: 图像右侧为白色)



图2 CCD 相机采集到的图像

对采集到的图像进行处理, 选取其中的一幅图像分别用均值滤波和中值滤波进行图像平滑, 对总的 20 幅图像用图像间平均滤波法进行图像平滑, 最后得到 3 幅平滑后的图像, 分别如图 3~图 5 所示。



图3 均值滤波



图4 中值滤波

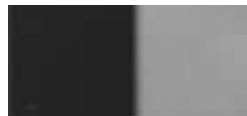


图5 图像间平均滤波法

为了更直观地比较上述三种图像平滑算子的性能, 将图像平滑前后第 30 行部分像素的灰度分布形式作图比较, 分别如图 6~图 8 所示。为了比较不同图像平滑算子对边缘检测精度的影响, 对以上三种图像平滑算子处理后的图像分别用 Sobel 算子和 Canny 算子进行边缘检测, 检测结果见表 1。

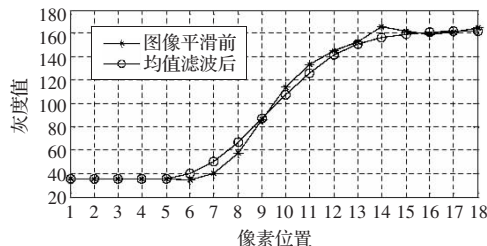


图6 均值滤波前后像素灰度分布图

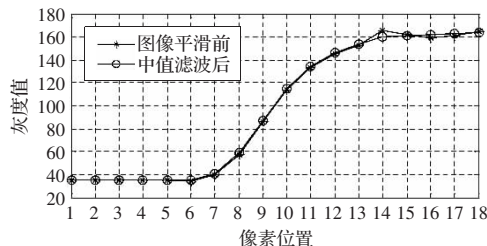


图7 中值滤波前后像素灰度分布图

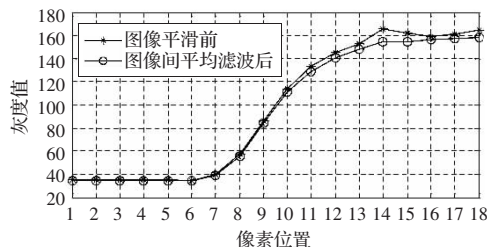


图8 图像间平均滤波前后像素灰度分布图

表1 不同方法平滑后边缘检测的结果

	Sobel 算子	Canny 算子
均值滤波法		
中值滤波法		
图像间平均法		

5 结论

通过图 6~图 8 和表 1 可以得出以下结论:

(1) 三种算法都有较好的去噪性能, 但均值滤波对图像边缘的模糊程度最大, 而中值滤波具有很好的边缘保持性能, 同